



PATENT
Atty. Docket No. 678-1236 (P10806)

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

APPLICANT(S): Chang-Soo HWANG, et al.

SERIAL NO.: 10/692,894

FILED: October 24, 2003

DATED: November 14, 2003

FOR: **TRANSMITTER AND RECEIVER PROVIDED IN
WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM USING
FOUR TRANSMITTING ANTENNAS**

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

Enclosed is a certified copy of Korean Patent Appln. No. 1454 filed
on January 9, 2003, from which priority is claimed under 35 U.S.C. §119.

Respectfully submitted,

Paul J. Farrell, Esq.
Reg. No. 33,494
Attorney for Applicant(s)

DILWORTH & BARRESE, LLP
333 Earle Ovington Blvd.
Uniondale, NY 11553
(516) 228-8484

CERTIFICATION UNDER 37 C.F.R. 1.8(a)

I hereby certify that this Transmittal of Priority Document and any document referred to as enclosed therein are being deposited with the United States Postal Service as first class mail, postpaid in an envelope, addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on the date listed below.

Dated: November 14, 2003

Paul J. Farrell



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

출원번호 : 10-2003-0001454
Application Number

출원년월일 : 2003년 01월 09일
Date of Application JAN 09, 2003

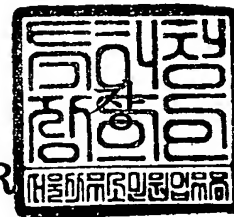
출원인 : 삼성전자주식회사
Applicant(s) SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.



2003 년 09 월 30 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0005
【제출일자】	2003.01.09
【국제특허분류】	H04L
【국제특허분류】	H04K
【발명의 명칭】	4 개의 송신 안테나를 사용하는 무선통신 시스템의 송수신 장치
【발명의 영문명칭】	TRANSMITTING AND RECEIVING APPARATUS FOR WIRELESS TELECOMMUNICATION SYSTEM USING 4 TRANSMIT ANTENNAS
【출원인】	
【명칭】	삼성전자 주식회사
【출원인코드】	1-1998-104271-3
【대리인】	
【성명】	이건주
【대리인코드】	9-1998-000339-8
【포괄위임등록번호】	2003-001449-1
【발명자】	
【성명의 국문표기】	황찬수
【성명의 영문표기】	HWANG, Chan-soo
【주민등록번호】	750704-1162416
【우편번호】	449-905
【주소】	경기도 용인시 기흥읍 상갈리 금화마을 주공아파트 303동 1704 호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	남승훈
【성명의 영문표기】	NAM, Seung-hoon
【주민등록번호】	771003-1055625
【우편번호】	158-071
【주소】	서울특별시 양천구 신정1동 목동아파트 1022-504
【국적】	KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 김영수
【성명의 영문표기】 KIM, Yung-soo
【주민등록번호】 640112-1063613
【우편번호】 463-743
【주소】 경기도 성남시 분당구 미금동(까치마을) 1단지 대우아파트 109동 240 1호
【국적】 KR

【발명자】

【성명의 국문표기】 정재학
【성명의 영문표기】 CHUNG, Jae-hak
【주민등록번호】 640822-1047624
【우편번호】 137-070
【주소】 서울특별시 서초구 서초동 무지개 아파트 1동 403호
【국적】 KR

【심사청구】

청구

【취지】

특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 이건주 (인)

【수수료】

【기본출원료】	20 면	29,000 원
【가산출원료】	10 면	10,000 원
【우선권주장료】	0 건	0 원
【심사청구료】	13 항	525,000 원
【합계】	564,000 원	

【요약서】**【요약】**

본 발명은 무선통신 시스템에서 페이딩에 의한 열화에 대응하기 위해 송신 안테나 다이버시티를 사용하는 장치에 관한 것으로서, 4개의 송신 안테나들을 통해 전송되는 4개의 심볼들 중 적어도 2개를 소정의 위상값만큼 위상 회전시킨다. 본 발명의 일 실시예에 따른 부호화기는 입력되는 4개의 심볼들이 각 안테나와 각 시간구간에서 한번씩만 전송되도록 각각 4개의 심볼들을 포함하는 4개의 조합들로 구성하고 상기 조합들을 4개의 시간구간들 동안 4개의 송신 안테나들로 전달하며, 여기서 상기 입력되는 4개의 심볼들 중 선택된 적어도 2개의 심볼들을 상기 송신 안테나들로 전송하기 이전에 각각 소정의 위상값들만큼 회전시킨다. 이러한 본 발명은 최대의 다이버시티 차수를 얻으며 송신 지연시간을 감소시켜 고속 페이딩에 대항한다.

【대표도】

도 3

【색인어】

TRANSMIT DIVERSITY, 4 ANTENNAS, SPACE TIME BLOCK CODE, MAXIMUM LIKELIHOOD DECODER

【명세서】**【발명의 명칭】**

4개의 송신 안테나를 사용하는 무선통신 시스템의 송수신 장치{TRANSMITTING AND RECEIVING APPARATUS FOR WIRELESS TELECOMMUNICATION SYSTEM USING 4 TRANSMIT ANTENNAS}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 종래 기술에 따른 공간-시간 블럭부호를 사용하는 송신기의 구성을 나타낸 블럭도.

도 2는 상기 도 1의 송신기로부터 송신된 신호를 수신하는 수신기의 구성을 나타낸 블럭 구성도.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 공간-시간 블럭부호를 사용하는 송신기의 구성을 나타낸 블럭도.

도 4는 상기 도 3의 송신기로부터 송신된 신호를 수신하는 수신기의 구성을 나타낸 블럭도.

도 5는 본 발명의 일 실시예에서 QPSK의 사용시 2개의 위상값들에 대한 최소 부호화 이득의 변화를 나타낸 시뮬레이션 결과.

도 6은 45도만큼 위상 회전된 QPSK 성상도.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 블럭 부호화 기술을 종래의 다른 기술들과 신호대 잡음비(SNR)에 대한 비트 오류율(BER)의 관점에서 비교한 도면.

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <8> 본 발명은 무선통신 시스템에 관한 것으로서, 특히 페이딩(Fading)에 의한 열화(Degradation)에 대응하기 위해 송신 안테나 다이버시티를 사용하는 송수신 장치에 관한 것이다.
- <9> 무선통신 시스템에서 다중경로 페이딩을 완화시키기 위한 효과적인 기술 중의 하나는 시간과 주파수 다이버시티(time and frequency diversity)이다. 안테나 다이버시티를 위한 알려진 기술 중의 Vahid Tarokh 등에 의해 제안된 공간-시간 블록부호(Space time block code)는 S.M. Alamouti가 제안한 송신 안테나 다이버시티 기술을 2개 이상의 안테나들을 사용할 수 있도록 확장한 것이다. Tarokh에 의한 제안은 "Space time block coding from orthogonal design," IEEE Trans. on Info., Theory, Vol. 45, pp. 1456-1467, July 1999에 공개되어 있으며, Alamouti에 의한 제안은 "A simple transmitter diversity scheme for wireless communications," IEEE Journal on Selected Area in Communications, Vol. 16, pp. 1451-1458, Oct. 1998에 공개되어 있다.
- <10> 도 1은 종래 기술에 따른 공간-시간 블록부호를 사용하는 송신기의 구성을 나타낸 블록도이다. 이는 Tarokh에 의해 제안된 것으로서, 도식한 바와 같이 직/병렬 변환기(Serial to Parallel Converter: S/P Converter)(110)와 부호화기(Encoder)(120)로 구성되어 있다. 여기서는 4개의 송신 안테나들(130, 132, 134, 136)을 사용하는 구조를 도시하였다.



<11> 상기 도 1을 참조하면, 상기 직/병렬 변환기(110)는 입력되는 심볼들을 4개씩 묶어 상기 부호화기(120)로 제공한다. 상기 부호화기(120)는 상기 4개의 심볼들을 가지고 8개의 조합들을 구성하여 8개의 시간구간들 동안 상기 4개의 송신 안테나들(130,132,134,136)로 전달한다. 상기 8개의 조합들은 하기의 <수학식 1>와 같은 8x4의 부호화 행렬로 나타낼 수 있다.

<12>

$$G_4 = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_1 & s_1 & -s_4 & s_3 \\ -s_3 & s_4 & s_1 & -s_2 \\ -s_4 & -s_3 & s_2 & s_1 \\ s_1^* & s_2^* & s_3^* & s_4^* \\ -s_2^* & s_1^* & -s_4^* & s_3^* \\ -s_3^* & s_4^* & s_1^* & -s_2^* \\ -s_4^* & -s_3^* & s_2^* & s_1^* \end{pmatrix}$$

【수학식 1】

<13> 여기서 G_4 는 4개의 송신 안테나들로 전송되는 심볼들의 부호화 행렬을 나타내고, s_1, s_2, s_3, s_4 는 전송하고자 하는 4개의 입력 심볼들을 나타낸다.

<14> 상기와 같이 상기 부호화기(120)는 입력되는 4개의 심볼들에 반전(negative)과 공액(conjugate)을 적용하여 8개의 시간구간동안 4개의 안테나들(130,132,134,136)로 출력한다. 여기서 각각의 안테나들로 출력되는 심볼 시퀀스들, 즉 열들(rows)은 상호간에 직교성을 가지게 된다.

<15> 보다 구체적으로 설명하면, 제1 시간구간에서는 첫 번째 열의 3개의 심볼들 s_1, s_2, s_3, s_4 가 상기 4개의 안테나들(130,132,134,136)로 각각 전달되며, 마찬가지로 마지막 시간구간에서는 마지막 열의 3개의 심볼들 $-s_4^*, -s_3^*, s_2^*, s_1^*$ 가 상기 4개의 안테나들(130,132,134,136)로 각각 전달된다. 즉, 상기 부호화기(120)는 M번째 안테나로 상기 부호화 행렬의 M번째 열의 심볼들을 순서대로 전달한다.

- <16> 도 2는 상기 도 1의 송신기로부터 송신된 신호를 수신하는 수신기의 구성을 나타낸 블럭도로서, 도시한 바와 같이 복수의 수신 안테나들(140,145)과 채널 추정기(Channel Estimator)(150)와 다중채널 심볼 배열기(Multiple Channel Symbol Arranger)(160)와 검출기(Detector)(170)로 구성된다.
- <17> 상기 도 2를 참조하면, 상기 채널 추정기(150)는 송신 안테나들(130 내지 136)로부터 수신 안테나들(140 내지 145)로의 채널 이득들을 나타내는 채널 계수들(channel coefficients)을 추정하며, 상기 다중채널 심볼 배열기(160)는 상기 수신 안테나들(140,142)에 의해 수신된 심볼들을 수집하여 상기 검출기(170)로 제공한다. 그러면 상기 검출기(170)는 상기 수신 심볼들에 상기 채널 계수들을 곱하여 구한 추정(hypotheses) 심볼들을 가지고 가능한 모든 심볼들에 대한 결정 통계량(decision statistic)을 계산한 뒤 임계값 검출(threshold detection)에 의해 원하는 심볼들을 검출한다.
- <18> Alamouti의 공간-시간 블럭부호 기술은 2개의 송신 안테나들을 통해 복소 심볼들(complex symbols)을 전송하더라도 전송율(rate)을 손실하지 않고 송신 안테나들의 개수와 동일한, 즉 최대의 다이버시티 차수(diversity order)를 얻는다. 이를 확장하여 Tarokh에 의해 제안된 상기 도 1과 도 2의 장치들은 상호간에 직교적인(orthogonal) 열들을 가지는 행렬 형태의 공간-시간 블럭부호를 사용하여 최대 다이버시티 차수를 얻는다. 그러나 상기 장치들은 4개의 복소 심볼들을 8개의 시간구간(time interval) 동안 전송하기 때문에 1/2의 전송율이 손실된다. 또한 한 블럭(4개의 심볼들)을 완전히 전송하는데 8개의 시간구간이 소요되기 때문에 고속 페이딩의 경우 블럭 내에서 채널환경의 변화에 의해 수신 성능이 나빠진다.



<19> 이상과 같이 4개 이상의 안테나들을 사용하여 복소 심볼들을 전송하는 경우, N개의 심볼들을 송신하기 위해 2N개의 시간구간이 걸리므로 전송율의 손실이 발생하여 지연시간(latency)이 길어지고 전송율이 저하되었다는 문제점이 있었다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<20> 따라서 상기한 바와 같이 동작되는 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 창안된 본 발명은 4개의 송신 안테나들을 사용하는 무선통신 시스템에서 전송율의 손실없이 최대의 다이버시티 차수와 최대의 전송율을 얻는 송수신 장치를 제공한다.

<21> 또한 본 발명은 4개의 송신 안테나들을 사용하는 무선통신 시스템에서 전송율의 손실없이 전송 지연시간을 최소화하는 송수신 장치를 제공한다.

<22> 본 발명의 일 실시예에 따른 송신기는, 무선통신 시스템에서 복소 심볼들을 전송하는 송신기에 있어서,

<23> 4개의 송신 안테나들과,

<24> 입력되는 4개의 심볼들이 각 안테나와 각 시간구간에서 한번씩만 전송되도록 상기 4개의 심볼들을 각각 4개의 심볼들을 포함하는 4개의 조합들로 구성하고 상기 조합들을 4개의 시간구간들 동안 상기 송신 안테나들로 전달하는 부호화기를 포함하고,

<25> 상기 입력되는 4개의 심볼들 중 선택된 적어도 2개의 심볼들은 각각 소정의 위상값들만큼 회전되는 것을 특징으로 한다.

<26> 본 발명의 일 실시예에 따른 수신기는, 무선통신 시스템에서 복소 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,



- <27> 4개의 송신 안테나들로부터 적어도 하나의 수신 안테나 각각으로 수신된 신호들을 4개의 시간구간들 동안 수신하는 심볼 배열기와,
- <28> 상기 4개의 송신 안테나들로부터 상기 적어도 하나의 수신 안테나로의 채널 이득들을 각각 나타내는 4개의 채널 이득들을 추정하는 채널 추정기와,
- <29> 상기 채널 이득들과 상기 심볼 배열기에 의해 수신된 신호들을 이용하여 각각 2개의 심볼들을 포함하는 가능한 모든 심볼 부조합들에 대해 메트릭 값들을 구하고 최소의 메트릭 값을 가지는 2개의 심볼들을 각각 검출하는 제1 및 제2 디코더들과,
- <30> 상기 제1 및 제2 디코더들에 의해 검출된 2개의 심볼들을 순서대로 배열하여 출력하는 병/직렬 변환기를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

【발명의 구성 및 작용】

- <31> 하기에 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- <32> 후술되는 본 발명에서는 최대 다이버시티 차수와 최대 전송율을 얻기 위해 전송 복소 심볼들(complex symbols)의 일부를 위상 회전(rotate)시키고 디코딩 설계를 간단하게 하기 위해 부분적인 직교 구조를 도입한다. 하기에서는 전송 복소 심볼들 중 선택된 2개의 송신 심볼들을

위상 회전시키는 구성 및 동작에 대해 설명할 것이지만 본 발명의 기능을 달성하기 위해서는 2 개 이상 임의의 개수의 송신 심볼들을 회전시키는 것이 가능함은 물론이다.

<33> 본 발명에서는 4개의 입력 심볼들을 4개의 송신 안테나들을 통해 4개의 시간구간 동안 전송하는데, 이를 부호화 행렬로 표현하면 하기의 <수학식 2>와 같다.

<34>

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_5 & s_6 & s_7 & s_8 \\ s_9 & s_{10} & s_{11} & s_{12} \\ s_{13} & s_{14} & s_{15} & s_{16} \end{bmatrix}$$

【수학식 2】

<35> 알려진 바와 같이 ML 디코딩을 사용하는 수신기에서는 송신 안테나로부터 수신 안테나로의 채널 이득을 사용하여 가능한 모든 심볼에 대하여 수신 신호와의 메트릭 값을 구하고, 상기 구해진 메트릭 값을 최소로 하는 심볼을 검출하는 방식을 사용한다.

<36> 그러면 상기 <수학식 2>와 같은 심볼들을 수신하는 수신기에서 i번째 송신 안테나로부터 한 수신 안테나로의 채널 이득을 h_i 라 표현할 때, 임의의 시간구간 t에서 생성된 심볼 조합(symbol combination) c_t 에 대응하는 메트릭 값은 하기의 <수학식 3>과 같이 표현된다.

<37>

$$\text{【수학식 3】 } \sum_{r=1}^4 |r_t - \sum_{i=1}^3 h_i c_r|^2$$

<38> 여기서 r_t 는 t번째 시간구간에서 수신된 신호를 나타내며 c_t 는 t번째 시간구간에서 생성된 심볼 조합이다. 상기 <수학식 3>에 상기 <수학식 2>의 부호화 행렬을 적용하면 수신기는 가능한 모든 심볼 조합들에 대하여 하기의 <수학식 4>를 최소화하는 심볼 조합을 결정한다.

<39>

$$\text{【수학식 4】 } |r_1 - h_1 s_1 - h_2 s_2 - h_3 s_3 - h_4 s_4|^2 + |r_2 - h_1 s_5 - h_2 s_6 - h_3 s_7 - h_4 s_8|^2 \\ + |r_3 - h_1 s_9 - h_2 s_{10} - h_3 s_{11} - h_4 s_{12}|^2 + |r_4 - h_1 s_{13} - h_2 s_{14} - h_3 s_{15} - h_4 s_{16}|^2$$

<40> 여기서 r_1, r_2, r_3, r_4 는 수신기에서 4개의 시간구간들 동안 각각 수신된 신호들이며, h_1, h_2, h_3, h_4 는 4개의 송신 안테나들로부터 수신 안테나로의 채널 이득들을 나타내는 채널 계수들이다.

<41> 수신기의 ML 검출 설계를 간략화하기 위해서는 상기 <수학식 4>에서 가능한 많은 크로스오버 항(crossover term)을 제거하여 송신 안테나들을 통해 전송되는 심볼 시퀀스들, 즉 열들이 상호간에 직교하도록 하여야 한다. 이를 위하여 크로스오버 항들만을 하기의 <수학식 5>에 나열하였다.

<42>

$$h_1 h_2^* C_1 + h_1 h_3^* C_2 + h_1 h_4^* C_3 + h_2 h_3^* C_4 + h_2 h_4^* C_5 + h_3 h_4^* C_6 =$$

$$h_1 h_2^* (s_1 s_2^* + s_3 s_6^* + s_9 s_{10}^* + s_{13} s_{14}^*) + h_1 h_3^* (s_1 s_3^* + s_2 s_7^* + s_9 s_{11}^* + s_{13} s_{15}^*) + h_1 h_4^* (s_1 s_4^* + s_2 s_8^* + s_9 s_{12}^* + s_{13} s_{16}^*)$$

【수학식 5】 $+ h_2 h_3^* (s_2 s_3^* + s_6 s_7^* + s_{10} s_{11}^* + s_{14} s_{15}^*) + h_2 h_4^* (s_2 s_4^* + s_6 s_8^* + s_{10} s_{12}^* + s_{14} s_{16}^*) + h_3 h_4^* (s_3 s_4^* + s_7 s_8^* + s_{11} s_{12}^* + s_{15} s_{16}^*)$

<43> 4x4 부호화 행렬을 이용하여 4개의 심볼들을 전송하는 경우 ML 디코딩시에 나타나는 모든 크로스오버 항들을 제거할 수 없음은 Tarokh에 의해 알려진 바와 같다. 그러나 상기 <수학식 5>에서 4개의 항들을 제거하여 ML 디코딩 설계를 간략화하는 것은 가능하다.

<44> 한편 최대의 다이버시티 차수를 얻기 위해서는 전송되는 4개의 심볼들이 각 안테나와 각 시간구간에서 단 한번씩만 전송되어야 하는데, 이러한 조건을 만족시키는 4x4 부호화 행렬들은 하기의 <수학식 6>에 나타낸 4가지이다. 다른 부호화 행렬들은 하기의 4가지 행렬들의 열 또는 행들을 상호간에 치환함으로써 구성할 수 있다.

<45>

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & s_1 & s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1 & s_2 \\ s_4 & s_3 & s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & s_1 & s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & s_2 & s_1 \\ s_4 & s_3 & s_1 & s_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & s_3 & s_4 & s_1 \\ s_3 & s_4 & s_1 & s_2 \\ s_4 & s_1 & s_2 & s_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & s_4 & s_1 & s_3 \\ s_3 & s_1 & s_4 & s_2 \\ s_4 & s_3 & s_2 & s_1 \end{bmatrix}$$

【수학식 6】

<46> 상기 <수학식 6>에 나타낸 행렬들 중 ML 디코딩 설계의 복잡도를 감소시킬 수 있는 것은 첫 번째 행렬뿐이다. 이는 ML 디코딩 설계의 복잡도를 줄이기 위해서는 부호화 행렬들을 구성

하는 2x2 부분행렬들(cosets)이 Alamouti에 의해 제안된 행렬의 형태로 변환된 수 있어야 하기 때문이다.

<47> 상기 <수학식 6>의 첫 번째 행렬에 대하여 상기 <수학식 5>에 나타난 바와 같은 4개의 크로스오버 항들을 제거할 수 있도록 반전과 공액을 적용하여 다시 구성한 부호화 행렬의 일 예를 하기의 <수학식 7>에 나타내었다.

<48>

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3^* & x_4^* \\ x_1^* & -x_1^* & x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1^* & -x_2^* \\ x_1^* & -x_3^* & -x_2 & x_1 \end{bmatrix}$$

【수학식 7】

<49> 여기서 x_1, x_2, x_3, x_4 는 전송하고자 하는 심볼들 s_1, s_2, s_3, s_4 에 반전과 공액을 적용하여 임의로 배열한 것이다.

<50> 상기의 <수학식 7>과 같은 부호화 행렬을 사용하면 수신기의 ML 디코더는 하기의 <수학식 8>을 최소화하는 심볼들을 검출하여야 한다.

<51>

$$\begin{aligned} \text{【수학식 8】} \quad & |r_1 - h_1 x_1 - h_2 x_2 - h_3 x_3^* - h_4 x_4^*|^2 + |r_2 - h_1 x_2^* + h_2 x_1^* - h_3 x_4 + h_4 x_3|^2 \\ & + |r_3 - h_1 x_3 - h_2 x_4 + h_3 x_1^* + h_4 x_2^*|^2 + |r_4 - h_1 x_4 + h_2 x_3^* + h_3 x_2 - h_4 x_1|^2 \end{aligned}$$

<52> 상기 <수학식 8>을 다시 배열하면 상기 <수학식 8>을 최소화하는 것은 하기의 <수학식 9>와 <수학식 10>을 각각 최소화하는 것과 동일하다. 이는 하기 <수학식 9>의 메트릭과 <수학식 10>의 메트릭이 서로 독립적이기 때문이다.

<53> 【수학식 9】 $\text{Min}(x_1, x_3)(|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |R_{13} - x_1^* x_3|^2 - |x_1|^2 |x_3|^2)$

<54> 【수학식 10】 $\text{Min}(x_2, x_4)(|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2^* x_4|^2 - |x_2|^2 |x_4|^2)$

<55> 여기서 $\text{Min}(a, b)(y(a, b))$ 이라 함은 $y(a, b)$ 를 최소화하는 a, b 를 결정한다는 의미이며, 상기 $R_1, R_3, R_{13}, R_2, R_4, R_{24}$ 는 하기의 <수학식 11>과 같이 정의되는 것이다.



<56>

$$R_1 = \frac{(r_1 h_1^* + r_2^* h_2 + r_3^* h_3 - r_4 h_4^*)}{K}, R_2 = \frac{(r_1 h_1^* + r_2^* h_2 - r_3^* h_3 + r_4 h_4^*)}{K}, R_3 = \frac{(-h_1 h_4^* + h_2^* h_3 - h_3^* h_2 + h_4 h_1^*)}{K}$$

$$R_4 = \frac{(r_1 h_1^* - r_2^* h_2 + r_3^* h_3 + r_4 h_4^*)}{K}, R_5 = \frac{(r_1 h_1^* - r_2^* h_2 - r_3^* h_3 - r_4 h_4^*)}{K}, R_6 = \frac{(-h_2 h_3^* - h_1^* h_4 + h_4^* h_1 + h_3 h_2^*)}{K}$$

【수학식 11】 $K = |h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2$

<57> 상기의 <수학식 9> 및 <수학식 10>를 이용하면, 수신기에서 상기 <수학식 9>에 따라 x_1 과 x_3 의 쌍(pair)을 디코딩하는 부분과 상기 <수학식 10>에 따라 x_2 와 x_4 의 쌍을 디코딩하는 부분을 분리(de-couple)하여, 수신기 구조를 보다 간략화할 수 있다.

<58> 한편, 입력되는 심볼들이 BPSK(Binary Phase Shift Keying)에 의하여 생성된 경우, 즉 실수 심볼(real symbol)인 경우, 상기와 같이 구성되는 부호화 행렬은 항상 최대의 다이버시티 차수를 가진다. 그러나 복소 성상도(complex constellation)를 이용하는 3차 이상의 심볼매핑 방식, 즉 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), 8PSK(8ary PSK), 16PSK(16ary PSK)를 사용하는 경우에는 전송되는 심볼들이 복소 형태가 되기 때문에 다이버시티 차수가 감소된다. 그러므로 본 발명에서는 4개의 심볼들 중 서로 다른 메트릭 값을 결정하는 2개의 심볼들을 각각 소정 위상값만큼 위상 회전시켜 최대의 다이버시티 차수 4를 얻는다. 그러면 4개의 안테나들을 통해 전송되는 심볼들은 하기의 <수학식 12>과 같은 행렬로 표현된다.

<59>

$$\begin{bmatrix} e^{j\theta_1} s_1 & s_2 & s_3^* & e^{-j\theta_4} s_4^* \\ s_2^* & -e^{-j\theta_1} s_1^* & e^{j\theta_4} s_4 & -s_3 \\ s_3 & e^{j\theta_4} s_4 & -e^{-j\theta_1} s_1^* & -s_2^* \\ e^{-j\theta_4} s_4^* & -s_3^* & -s_2 & e^{j\theta_1} s_1 \end{bmatrix}$$

【수학식 12】

<60> 여기에서는 상기 입력 심볼들 s_1, s_2, s_3, s_4 중 s_1, s_4 를 각각 θ_1, θ_4 만큼씩 위상 회전하는 부호화 행렬을 도출하였다. 다른 경우 서로 다른 메트릭에 관련되는 심볼 쌍인 s_1, s_2 또는 s_3, s_4 또는 s_2, s_3 을 회전시킬 수 있다. 여기서 2개의 심볼들을 각각 회전시키는 위상값들이 서로 다르거나 또는 서로 동일하더라도 다이버시티 차수는 항상 최대로 유지된다.

<61> 본 발명에 따라 최대의 다이버시티 차수와 최소의 지연시간을 가지면서, ML 디코딩 설계를 간략화 하는 다른 부호화 행렬들의 일부를 하기의 <수학식 13>에 도시하였다.

<62>

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ x_2 & -x_1 & x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1 & -x_2 \\ x_4 & -x_3 & -x_2 & x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & -x_4 \\ x_2 & -x_1 & x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1 & x_2 \\ x_4 & -x_3 & -x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & -x_4 \\ x_2 & -x_1 & -x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1 & x_2 \\ x_4 & -x_3 & x_2 & x_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ x_2 & -x_1 & -x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1 & -x_2 \\ x_4 & -x_3 & x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3 & -x_4 \\ x_2 & -x_1 & x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1 & x_2 \\ x_4 & -x_3 & -x_2 & x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3 & x_4 \\ x_2 & -x_1 & x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1 & -x_2 \\ x_4 & -x_3 & -x_2 & -x_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3 & -x_4 \\ x_2 & -x_1 & -x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1 & x_2 \\ x_4 & -x_3 & x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3 & x_4 \\ x_2 & -x_1 & -x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1 & -x_2 \\ x_4 & -x_3 & x_2 & x_1 \end{bmatrix}$$

【수학식 13】

<63> 여기서 x_1, x_2, x_3, x_4 는 전송하고자 하는 심볼들 s_1, s_2, s_3, s_4 전체 또는 일부에 반전과 공액을 적용하고 위상 회전시켜 임의로 배열한 것이다.

<64> 본 발명의 변형된 실시예에서 전송하고자 하는 심볼들 중 선택된 적어도 2개의 심볼들은 서로 다른 위상값만큼 회전될 수 있다. 이러한 점을 고려하면 부호화 행렬은 하기의 <수학식 14>와 같이 일반화된다.

<65>

$$\begin{bmatrix} e^{j\theta_1} s_1 & e^{j\theta_2} s_2 & e^{-j\theta_3} s_3 & e^{-j\theta_4} s_4 \\ e^{-j\theta_1} s_2 & -e^{-j\theta_2} s_1 & e^{j\theta_3} s_4 & -e^{j\theta_4} s_3 \\ e^{j\theta_3} s_3 & e^{j\theta_4} s_4 & -e^{-j\theta_1} s_1 & -e^{-j\theta_2} s_2 \\ e^{-j\theta_3} s_4 & -e^{-j\theta_4} s_3 & -e^{j\theta_1} s_2 & e^{j\theta_2} s_1 \end{bmatrix}$$

【수학식 14】

<66> 본 발명의 다른 변형된 실시예에서 부호화 행렬에 임의의 단일 행렬(unitary matrix) U 를 곱하여 사용한다. 이러한 경우 수신기에서는 하기의 <수학식 15>에 나타낸 바와 같이, 수신 심볼들에 U^H 를 곱하여 검출한다.

<67>

$$U \begin{bmatrix} e^{j\theta_1} x_1 & e^{j\theta_2} x_2 & e^{-j\theta_3} x_3^* & e^{-j\theta_4} x_4^* \\ e^{-j\theta_2} x_2^* & -e^{-j\theta_1} x_1^* & e^{j\theta_4} x_4 & -e^{j\theta_3} x_3 \\ e^{j\theta_3} x_3 & e^{j\theta_4} x_4 & -e^{-j\theta_1} x_1^* & -e^{-j\theta_2} x_2^* \\ e^{-j\theta_4} x_4^* & -e^{-j\theta_3} x_3^* & -e^{j\theta_2} x_2 & e^{j\theta_1} x_1 \end{bmatrix}$$

【수학식 15】 $U^H U = I$

<68>

이상에서 설명한 바와 같은 부호화 행렬들을 이용하는 송신기와 수신기를 도 3과 도 4에 나타내었다.

<69>

상기 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 송신기의 구성을 나타낸 블록도로서, 도시한 바와 같이 직/병렬 변환기(Serial to Parallel Converter)(210)와 위상 회전기들(Phase Rotators)(220,225)과 부호화기(Encoder)(230)와 4개의 송신 안테나들(240,242,244)로 구성된다.

<70>

상기 도 3을 참조하면, 상기 직/병렬 변환기(210)는 입력되는 4개의 심볼들 s_1, s_2, s_3, s_4 를 하나의 블록으로 묶어 상기 부호화기(230)로 제공한다. 이때 하나의 블록 중 선택된 2개의 심볼들 s_1, s_4 는 상기 부호화기(230)로 입력되기 전에 상기 위상 회전기들(220,225)에 의해 각각 소정 위상값들 θ_1, θ_4 만큼씩 회전된다. 여기서 상기 2개의 심볼들은 수신기에서 서로 다른 메트릭에 관련되도록 선택된다. 상기 부호화기(230)는 상기 위상 회전된 2개의 심볼들을 포함하는 한 블록의 심볼들을 가지고 각각 4개의 심볼들을 포함하는 4개의 조합들을 구성하여 4개의 시간구간들 동안 상기 4개의 송신 안테나들(240 내지 246)로 전달한다.

<71>

여기서 상기 부호화기(230)는 최대의 다이버시티 차수를 얻기 위하여, 상기 입력되는 4개의 복소 심볼들이 각 안테나와 각 시간구간에서 한번씩만 전송되도록 상기 조합들을 구성한다. 또한 상기 부호화기(230)는 각각의 안테나로 전달되는 심볼 시퀀스들의 적어도 일부가 상호간에 직교하도록(orthogonally) 상기 입력 심볼들에 반전(negative)과 공액(conjugate)을 적

용하여 상기 조합들을 구성한다. 여기서 상기 입력 심볼들 중 선택된 2개의 심볼들을 위상 회전시키는 것은 상기 입력 심볼들이 복소 심볼인 경우에도 최대의 다이버시티 차수를 얻기 위함이다.

<72> 상기 4개의 안테나들로 전송되는 4개의 조합들을 4x4 행렬로 표현하면, M번째 안테나로는 부호화 행렬의 M번째 열(row)의 심볼들이 순서대로 전달된다. 즉 n번째 시간구간에서 n번째 행(column)의 심볼들이 동시에 4개의 안테나들로 전달된다.

<73> 일 예로서 입력되는 4개의 심볼들 s_1, s_2, s_3, s_4 중 s_1, s_4 를 각각 θ_1, θ_4 만큼 위상 회전하는 경우, 상기 부호화기(230)의 출력은 앞서 언급한 <수학식 12>와 같은 4x4의 부호화 행렬로 나타낼 수 있다. 상기 <수학식 12>에 나타난 부호화 행렬이 사용되는 경우 제1 시간구간에서는 첫 번째 열의 3개의 심볼들 $e^{j\theta_1}s_1, s_2, s_3^*$, $e^{j\theta_4}s_4^*$ 이 상기 4개의 안테나들(240 내지 246)로 전달되며, 마지막 4번째 시간구간에서는 마지막 4번째 열의 심볼들 $e^{j\theta_4}s_4^*, -s_3^*, -s_2, e^{j\theta_1}s_1$ 이 상기 4개의 안테나들(240 내지 246)로 전달된다.

<74> 상기 도 4는 상기 도 3의 송신기로부터 송신된 신호를 수신하는 수신기의 구성을 나타낸 블록도로서, 여기서 본 발명에 따른 수신기는 독립적으로 동작하는 2개의 ML(Maximum Likelihood) 디코더들(Decoders)(340,345)을 포함하여 구성된다.

<75> 상기 도 4를 참조하면, 채널 추정기(Channel Estimator)(320)는 3개의 송신 안테나들(240 내지 246)로부터 수신 안테나들(310, 315)로의 채널 계수들(channel coefficients), 즉 채널 이득들 h_1, h_2, h_3, h_4 를 추정하며, 심볼 배열기(Symbol Arranger)(330)는 상기 수신 안테나들(310,315) 각각을 통해 4개의 시간구간들 동안 수신되는 신호들 r_1, r_2, r_3, r_4 를 수집한다.

- <76> 만일 수신 안테나가 1개라면 상기 심볼 배열기(330)는 4개의 시간구간들 동안의 수신 신호들 r_1, r_2, r_3, r_4 를 수집한다. 이는 송신기에 의해 한 블록의 심볼들이 4개의 시간구간들 동안 전송되었기 때문이다. 만일 2개 이상의 수신 안테나들이 사용되는 경우 상기 심볼 배열기(330)는 수신 신호들을 모아 행렬 형태로 구성한다. 여기서 하나의 행에는 하나의 수신 안테나를 통해 수신되는 신호들을 배치하고 하나의 열에는 하나의 시간구간에 수신되는 신호들을 배치한다. 여기에서는 복수개의 수신 안테나들(310, 315)을 사용하는 구조를 도시하였으나 아래에서는 설명의 편의를 위하여 하나의 수신 안테나를 사용하는 경우에 대해서 설명할 것이다.
- <77> 송신기로부터 전송된 4개의 심볼들 s_1, s_2, s_3, s_4 를 복원하고자 하는 경우, 상기 디코더들(340, 345) 중 제1 디코더(340)는 상기 채널 이득들 및 상기 수신 신호들에 따라 s_1 과 s_3 을 검출하며 제2 디코더(345)는 마찬가지로 s_2 와 s_4 를 검출한다. 그러면 상기 디코더들(340, 345)에 의해 상기 4개의 심볼들이 동시에 검출된다. 여기서 검출된 심볼들은 원래의 심볼들과 구별하기 위하여 s' 으로 표기하였다.
- <78> 이하 앞서 언급한 <수학식 12>의 부호화 행렬을 이용하는 경우, 상기 제1 디코더(340)의 동작에 대해 설명하면, 상기 제1 디코더(340)에서 심볼 발생기(Symbol Generator)(350)는 모든 가능한 s_1 과 s_3 의 부조합들(Sub-combinations)을 생성하며, 위상 회전기(Phase Rotator)(360)는 상기 발생된 심볼들 중 하나인 s_1 을 송신기에 의해 사용된 것과 동일한 위상 값 θ_1 만큼 회전시켜 $e^{j\theta_1}s_1$ 을 출력한다.
- <79> 메트릭 계산기(Metric Calculator)(370)는 상기 추정된 채널 이득들 h_1, h_2, h_3, h_4 와 상기 수신 신호들 r_1, r_2, r_3, r_4 를 가지고, 위상 회전된 하나의 심볼을 포함하는 가능한 모든 심볼 부조합들에 대해 <수학식 9>를 계산하여 메트릭 값들(Metric values)을 구한다. 그러면 검출기(380)는 상기 메트릭 값들을 이용하여 최소의 메트릭 값을 가지도록 하는 s

s_1' , s_3' 을 검출한다.

- <80> 이상과 같은 동작은 상기 제2 디코더(345)에서도 동일하게 이루어진다. 이와 같이 상기 제1 디코더(340)에서는 s_1' 과 s_3' 을 검출하고 상기 제2 디코더(345)에서는 s_2' 와 s_4' 를 검출하면, 병렬/직렬 변환기(Parallel to Serial Converter)(390)는 상기 검출된 심볼들을 순서대로 나열하여 심볼 조합 s_1', s_2', s_3', s_4' 를 출력한다.
- <81> 상기 도 3 및 도 4와 같이 구성되는 송신기와 수신기에서 심볼들을 위상 회전시키기 위하여 사용되는 위상값은 오류 행렬들(error matrices)의 최소 부호화 이득(minimum coding gain)에 따라 결정되어야 한다. 여기서 오류 행렬이란 수신기에서 잘못 검출된 심볼들과 원래 송신된 심볼들간의 차이를 행렬 형태로 배열한 것이며 최소 부호화 이득은 오류 행렬의 모든 고유값들(eigen values)의 곱을 의미한다.
- <82> 도 5는 본 발명에서 QPSK의 사용시 2개의 위상값들에 대한 최소 부호화 이득의 변화를 나타낸 시뮬레이션 결과이다. 여기서는 2개의 위상값들이 동일하다고 가정하였으며, 가로 축은 위상값을 나타내고 세로 축은 오류 행렬의 최소 부호화 이득을 나타낸다. 위상값이 90도의 배수가 되면 최소 부호화 이득은 0이 된다. 이는 QPSK 성상도를 90도만큼 회전시키면 원래의 성상도가 되기 때문이다.
- <83> 상기 도 5에 도시된 결과에 따르면 위상값이 45도 주위에 있을 때 최소 부호화 이득이 평탄하게(flat) 됨을 알 수 있다. 따라서 본 발명에서 바람직한 위상값은 45도이다. 도 6에 일 예로서 45도만큼 위상 회전된 QPSK 성상도를 나타내었다. 도시한 바와 같이 위상 회전된 심볼들은 실수축 또는 허수축 상에 위치하게 된다. 본 발명의 제1 실시예에 따른 바람직한 위상 회전의 범위를 예시하면, QPSK가 사용되는 경우 45도를 중심으로 하여 대략 21도 내지 69도이며,



8PSK(8-ary Phase Shift Keying)가 사용되는 경우에는 대략 21도 내지 24도이고, 16PSK(16-ary PSK)가 사용되는 경우에는 대략 11.25도이다. 그러나 본 발명은 이러한 수치 한정에 의하여 제한되는 것이 아니며 바람직한 위상 회전의 범위는 시스템의 특성 등에 따라 설정되어야 한다.

<84> 도 7은 본 발명에 따른 블록 부호화 기술을 종래의 다른 기술들과 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio: SNR)에 대한 비트 오류율(Bit Error Rate: BER)의 관점에서 비교한 그래프이다. 여기서 410은 부호화하지 않은 심볼들을 전송하는 경우이고 420은 Tarokh에 의해 열들간에 직교인 8x4 부호화 행렬을 사용하는 경우이고, 430은 Alamouti에 의해 2개의 안테나를 사용하는 경우의 효율이고, 440은 최적화된 위상값 45도를 사용하는 4x4 부호화 행렬을 사용하는 경우이고, 450은 최적화되지 않은 위상값 5도를 사용하는 4x4 부호화 행렬을 사용하는 경우이고, 460은 3개의 송신 안테나들에 대해 4x3 행렬을 사용하는 경우의 효율을 나타낸 것이다. 도시한 바와 같이 본 발명에 따라 최적화된 위상값을 사용하는 블록 부호는 동일한 신호대 잡음비의 환경에서 보다 낮은 비트 오류율을 가짐을 알 수 있다.

<85> 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되지 않으며, 후술되는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.



【발명의 효과】

- <86> 이상에서 상세히 설명한 바와 같이 동작하는 본 발명에 있어서, 개시되는 발명중 대표적인 것에 의하여 얻어지는 효과를 간단히 설명하면 다음과 같다.
- <87> 본 발명은 복소 성상도를 사용하는 경우에도 전송율의 손실 없이 최대의 다이버시티 차수를 얻을 수 있으며, 송신 지연시간을 감소시켜 고속 페이딩에 강하다. 또한 부호화 행렬의 열들이 상호간에 직교하도록 하여 디코딩 설계를 간단히 한다.



【특허청구범위】

【청구항 1】

무선통신 시스템에서 복소 심볼들을 전송하는 송신기에 있어서,

4 개의 송신 안테나들과,

입력되는 4개의 심볼들이 각 안테나와 각 시간구간에서 한번씩만 전송되도록 상기 4개의 심볼들을 각각 4개의 심볼들을 포함하는 4개의 조합들로 구성하고 상기 조합들을 4개의 시간구간들 동안 상기 송신 안테나들로 전달하는 부호화기를 포함하고,

상기 입력되는 4개의 심볼들 중 선택된 적어도 2개의 심볼들은 각각 소정의 위상값들만큼 회전되는 것을 특징으로 하는 송신기.

【청구항 2】

제 1 항에 있어서, 상기 선택된 심볼들은 2개이며 수신기에서의 복호시에 서로 다른 메트릭에 관련되는 것을 특징으로 하는 송신기.

【청구항 3】

제 1 항에 있어서, QPSK가 사용되는 경우 상기 위상값들은 45도를 중심으로 하여 21도 내지 69도의 범위인 것을 특징으로 하는 송신기.

【청구항 4】

제 1 항에 있어서, 8PSK가 사용되는 경우 상기 위상값들은 21도 내지 24도의 범위인 것을 특징으로 하는 송신기.

【청구항 5】

제 1 항에 있어서, 16PSK가 사용되는 경우 상기 위상값들은 11.25도인 것을 특징으로 하는 송신기.

【청구항 6】

제 1 항에 있어서, 상기 부호화기는,

4개의 시간구간들 동안에 각각의 안테나로 전달되는 4개의 심볼 시퀀스들 중 적어도 일부의 심볼 시퀀스들이 상호간에 직교하도록 상기 4개의 심볼들에 반전과 공액을 적용하여 상기 4개의 조합들을 구성하는 것을 특징으로 하는 송신기.

【청구항 7】

제 6 항에 있어서, 상기 입력되는 4개의 심볼들로 구성되는 상기 4개의 조합들은 하기와 같이 4개의 열들과 4개의 행들을 가지는 행렬을 형성함을 특징으로 하는 송신기.

$$\begin{bmatrix} e^{j\theta_1} s_1 & s_2 & s_3^* & e^{-j\theta_4} s_4^* \\ s_2^* & -e^{-j\theta_1} s_1^* & e^{j\theta_4} s_4 & -s_3 \\ s_3 & e^{j\theta_4} s_4 & -e^{-j\theta_1} s_1^* & -s_2^* \\ e^{-j\theta_4} s_4^* & -s_3^* & -s_2 & e^{j\theta_1} s_1 \end{bmatrix}$$



여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 입력되는 심볼들이며 θ_1, θ_4 는 심볼들 s_1, s_4 의 위상 회전값임.

【청구항 8】

제 6 항에 있어서, 상기 입력되는 4개의 심볼들로 구성되는 상기 4개의 조합들은 하기와 같이 4개의 열들과 4개의 행들을 가지는 행렬을 형성함을 특징으로 하는 송신기.

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ x_2 & -x_1 & x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1 & -x_2 \\ x_4 & -x_3 & -x_2 & x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & -x_4 \\ x_2 & -x_1 & x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1 & x_2 \\ x_4 & -x_3 & -x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & -x_4 \\ x_2 & -x_1 & -x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1 & x_2 \\ x_4 & -x_3 & x_2 & x_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ x_2 & -x_1 & -x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & -x_1 & -x_2 \\ x_4 & -x_3 & x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3 & -x_4 \\ x_2 & -x_1 & x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1 & x_2 \\ x_4 & -x_3 & -x_2 & x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3 & x_4 \\ x_2 & -x_1 & x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1 & -x_2 \\ x_4 & -x_3 & -x_2 & -x_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3 & -x_4 \\ x_2 & -x_1 & -x_4 & x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1 & x_2 \\ x_4 & -x_3 & x_2 & -x_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & -x_3 & x_4 \\ x_2 & -x_1 & -x_4 & -x_3 \\ x_3 & x_4 & x_1 & -x_2 \\ x_4 & -x_3 & x_2 & x_1 \end{bmatrix}$$

여기서 x_1, x_2, x_3, x_4 는 위상 회전된 2개의 심볼들을 포함하는 4개의 입력 심볼들임.

【청구항 9】

제 6 항에 있어서, 상기 입력되는 4개의 심볼들로 구성되는 상기 4개의 조합들은 하기와 같이 4개의 열들과 4개의 행들을 가지는 행렬을 형성함을 특징으로 하는 송신기.

$$\begin{bmatrix} e^{j\theta_1} s_1 & e^{j\theta_2} s_2 & e^{-j\theta_3} s_3 & e^{-j\theta_4} s_4 \\ e^{-j\theta_1} s_2 & -e^{-j\theta_1} s_1 & e^{j\theta_4} s_4 & -e^{j\theta_3} s_3 \\ e^{j\theta_3} s_3 & e^{j\theta_4} s_4 & -e^{-j\theta_1} s_1 & -e^{-j\theta_2} s_2 \\ e^{-j\theta_4} s_4 & -e^{-j\theta_2} s_3 & -e^{j\theta_2} s_2 & e^{j\theta_1} s_1 \end{bmatrix}$$

【청구항 10】

무선통신 시스템에서 복소 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

4 개의 송신 안테나들로부터 적어도 하나의 수신 안테나 각각으로 수신된 신호들을 4개의 시간구간들 동안 수신하는 심볼 배열기와,

상기 4개의 송신 안테나들로부터 상기 적어도 하나의 수신 안테나로의 채널 이득들을 각각 나타내는 4개의 채널 이득들을 추정하는 채널 추정기와,

상기 채널 이득들과 상기 심볼 배열기에 의해 수신된 신호들을 이용하여 각각 2개의 심볼들을 포함하는 가능한 모든 심볼 부조합들에 대해 메트릭 값들을 구하고 최소의 메트릭 값을 가지는 2개의 심볼들을 각각 검출하는 제1 및 제2 디코더들과,

상기 제1 및 제2 디코더들에 의해 검출된 2개의 심볼들을 순서대로 배열하여 출력하는 병/직렬 변환기를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 수신기.

【청구항 11】

제 10 항에 있어서, 상기 제1 및 제2 디코더들 각각은,

각각 2개의 심볼들을 포함하는 가능한 모든 심볼 부조합들을 발생하는 심볼 발생기와,

상기 2개의 심볼들 중 선택된 한 심볼을 소정의 위상값만큼 회전시키는 위상 회전기와,

상기 심볼 배열기에 의해 수신된 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 상기 위상 회전된 심볼을 포함하는 심볼 부조합들에 대한 메트릭 값들을 구하는 메트릭 계산기와,

상기 구해진 메트릭 값들을 이용하여 최소의 메트릭 값을 가지는 2개의 심볼들을 검출하는 검출기로 구성되는 것을 특징으로 하는 수신기.

【청구항 12】

제 11 항에 있어서, 상기 제1 디코더는,

$|R_1 - e^{j\theta_1} s_1|^2 + |R_3 - s_3|^2 + |R_{13} - e^{j\theta_1} s_1^* s_3|^2 - |s_1|^2 |s_3|^2$ 을 최소화하는 2개의 심볼들 s_1, s_3 을 검출하며 여기서 R_1, R_3, R_{13} 은 하기의 수학식과 같이 정의되는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \frac{(r_1 h_1^* + r_2^* h_2 + r_3^* h_3 - r_4^* h_4)}{K}, R_3 = \frac{(r_1 h_1^* + r_2^* h_2 - r_3^* h_3 + r_4^* h_4)}{K}, R_{13} = \frac{(-h_1 h_3^* + h_1^* h_4 - h_2^* h_3 + h_2 h_4^*)}{K}$$

$$K = |h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2$$

여기서 r_1, r_2, r_3, r_4 는 4개의 시간구간들 동안 각각 수신된 신호들이며 h_1, h_2, h_3, h_4 는 4개의 안테나들의 채널 이득들임.

【청구항 13】

제 11 항에 있어서, 상기 제2 디코더는,

$|R_2 - s_2|^2 + |R_4 - e^{j\theta_2} s_4|^2 + |R_{24} - s_2^* e^{j\theta_2} s_4|^2 - |s_2|^2 |s_4|^2$ 을 최소화하는 2개의 심볼들 s_2, s_4 를 검출하며 여기서 R_2, R_4, R_{24} 는 하기의 수학식과 같이 정의되는 것을 특징으로 하는 수신기.

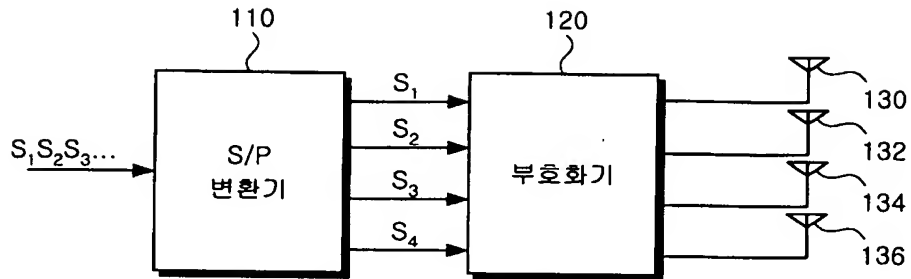
$$R_2 = \frac{(r_1 h_2^* - r_2^* h_3 + r_3^* h_4 + r_4^* h_1)}{K}, R_4 = \frac{(r_1 h_3^* - r_2^* h_4 - r_3^* h_1 - r_4^* h_2)}{K}, R_{24} = \frac{(-h_2 h_3^* - h_1^* h_4 + h_3^* h_1 + h_4 h_2^*)}{K}$$

$$K = |h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2$$

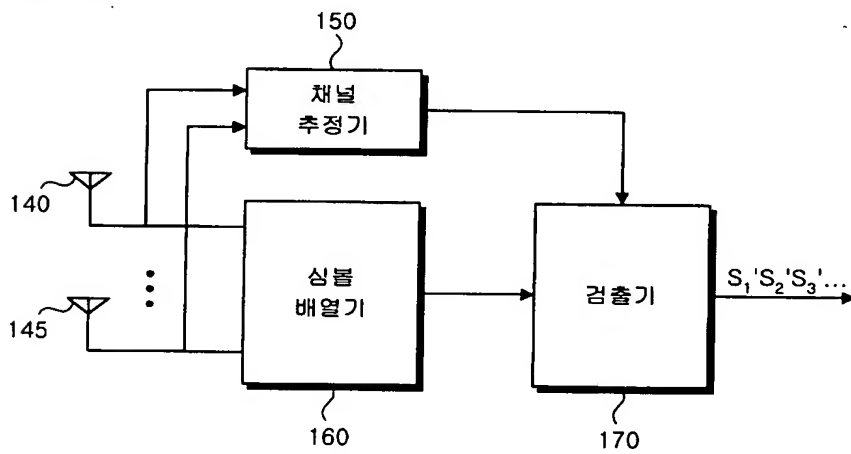
여기서 r_1, r_2, r_3, r_4 는 4개의 시간구간들 동안 각각 수신된 신호들이며 h_1, h_2, h_3, h_4 는 4개의 안테나들의 채널 이득들임.

【도면】

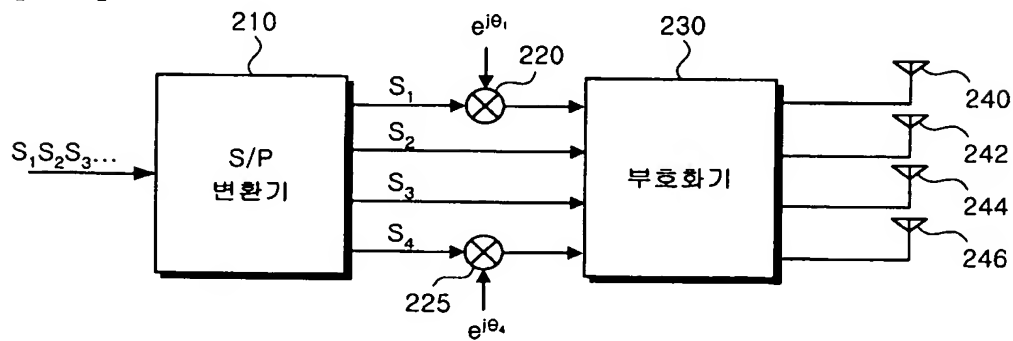
【도 1】



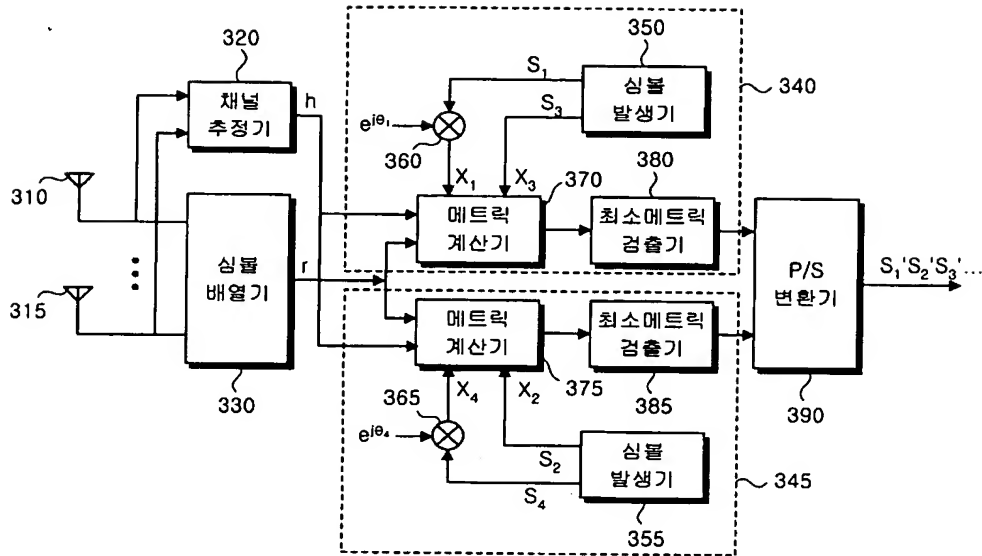
【도 2】



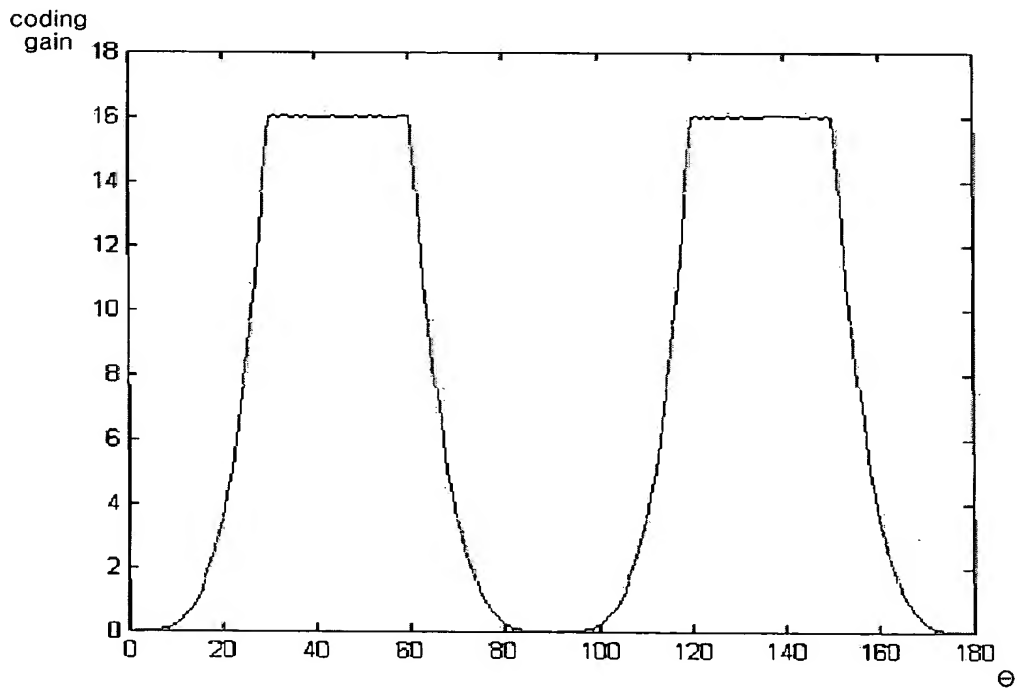
【도 3】



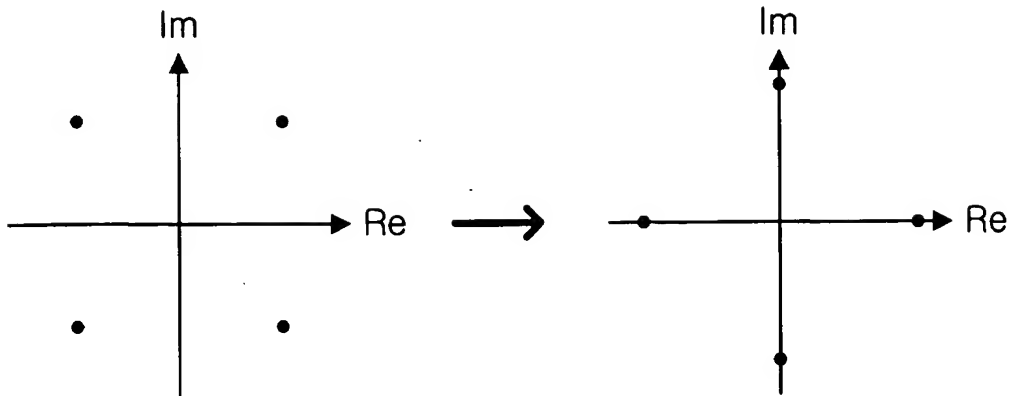
【도 4】



【도 5】



【도 6】



【도 7】

